



دانشکده‌ی علوم  
گروه آموزشی فیزیک

پایان‌نامه برای دریافت درجه‌ی کارشناسی ارشد  
در رشته‌ی فیزیک گرایش حالت جامد

عنوان:

**تهیه نانوکامپوزیت‌های پلیمری سولفید روی و بررسی خواص دی‌الکتریک آن‌ها**

استاد راهنما:

دکتر یاشار عزیزیان کلاندرق

پژوهشگر:

بشیر اکبری

زمستان 94

نام خانوادگی دانشجو: اکبری	نام: بشیر
عنوان پایان نامه: تهیه نانوکامپوزیت‌های پلیمری سولفید روی و بررسی خواص دی‌الکتریک آن‌ها	
استاد راهنما: دکتر یاشار عزیزیان کلاندرق	
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد	رشته: فیزیک
گرایش: حالت جامد	دانشگاه: محقق اردبیلی
دانشکده: علوم پایه	تاریخ دفاع: 94/11/28
	تعداد صفحات: 77
<p><b>چکیده:</b></p> <p>در این پایان‌نامه، نانوساختارهای سولفید روی در حضور PVA به عنوان عامل پوششی با استفاده از امواج مایکروویو تولید شدند. نمونه تهیه شده با استفاده از آنالیزهای پراش پرتو ایکس و طیف جذبی نور فرابنفش-مرئی مورد بررسی قرار گرفت. هدف اصلی از اجرای این پایان‌نامه مشخص کردن برخی از خواص الکتریکی و دی‌الکتریکی ساختار Au/ZnS-PVA/n-Si بود. بدین منظور آنالیزهای مختلفی در بازه ولتاژی 3- تا 3+ ولت و بازه فرکانسی 10 تا 200 کیلوهرتز در دمای اتاق انجام گرفت. برخی از پارامترهای مهم الکتریکی مانند غلظت اتم‌های آلیایده شده (<math>N_D</math>)، سطح انرژی فرمی (<math>E_F</math>) و ارتفاع سد شاتکی (<math>\Phi_B(C-V)</math>) با استفاده از نمودار <math>1/C^2</math> محاسبه شدند. بستگی به ولتاژ مقاومت سری (<math>R_s</math>) و حالت‌های سطحی (<math>N_{ss}</math>) ساختار تولید شده نیز مورد بررسی قرار گرفت. هر دو نمودار <math>R_s-V</math> و <math>N_{ss}-V</math> دارای یک پیک مشخص در ناحیه تهی بودند. با اعمال مقدار <math>R_s</math> در نمودارهای <math>C-V</math> و <math>G/\omega-V</math> مشخص شد <math>R_s</math> نقش مهمی در تعیین این مقادیر دارد. برخی از خواص دی‌الکتریکی مانند قسمت حقیقی و موهومی ثابت دی‌الکتریک (<math>\epsilon'</math>, <math>\epsilon''</math>)، قسمت حقیقی و موهومی مدول الکتریکی (<math>M'</math>, <math>M''</math>)، ضریب اتلاف انرژی (<math>\tan\delta</math>) و رسانندگی الکتریکی (<math>\sigma</math>) نیز بر حسب ولتاژ در فرکانس‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفتند. آنالیزها موبد این امر بودند که لایه ZnS-PVA نقش بسیار مهمی در تعیین خواص الکتریکی و دی‌الکتریکی ساختار تولید شده دارند.</p>	
<p><b>کلید واژه‌ها:</b> سولفید روی، امواج مایکروویو، خواص الکتریکی و دی‌الکتریکی، مدول الکتریکی و رسانندگی الکتریکی ولتاژ ac، بستگی به ولتاژ و فرکانس</p>	

فصل اول: نیمه‌رساناها و نانومواد

1-1- نیمه‌رساناها.....	2
1-1-1- مقدمه .....	2
1-1-2- ساختار نواری در مواد نیمه‌رسانا .....	3
1-1-2-1- اکسیتون .....	4
1-1-3- دسته‌بندی نیمه‌رساناها .....	5
1-1-3-1- دسته‌بندی نیمه‌رساناها بر حسب جدول تناوبی .....	5
1-1-3-2- دسته‌بندی نیمه‌رساناها بر حسب شکل گاف انرژی .....	6
1-1-3-3- دسته‌بندی نیمه‌رساناها بر حسب شبکه ساختار بلوری .....	6
1-1-3-4- دسته‌بندی نیمه‌رساناها بر حسب میزان ناخالصی در شبکه بلوری .....	6
1-2- نانومواد.....	8
1-2-1- مقدمه .....	8
1-2-2- شاخه‌های نانوفناوری .....	9
1-1-2-1- نانو تکنولوژی مرطوب .....	9
1-1-2-2- نانو تکنولوژی خشک .....	9
1-1-2-2- نانو تکنولوژی محاسبه‌ای .....	9
1-3-2- طبقه‌بندی نانومواد.....	Error! Bookmark not defined.
1-4-2- خواص نانومواد .....	Error! Bookmark not defined.
1-4-2-1- ابعاد ذره.....	Error! Bookmark not defined.
1-4-2-2- شکل ذرات .....	Error! Bookmark not defined.
1-4-2-3- شبکه ساختاری .....	Error! Bookmark not defined.
1-5- کاربرد نانومواد .....	Error! Bookmark not defined.
1-5-2-1- نانو پزشکی .....	Error! Bookmark not defined.
1-5-2-2- نانو الکترونیک و نانوفوتونیک .....	Error! Bookmark not defined.
1-6-2- ساخت نانومواد به روش‌های فیزیکی .....	Error! Bookmark not defined.
1-6-2-1- نشست شیمیایی بخار .....	Error! Bookmark not defined.

Error! Bookmark not defined.....	2-6-2-1	نشست فیزیکی بخار
Error! Bookmark not defined.....	3-6-2-1	اثر وسل
Error! Bookmark not defined.....	4-6-2-1	کندوپاش
Error! Bookmark not defined.....	5-6-2-1	سایش لیزری
Error! Bookmark not defined.....	7-2-1	ساخت نانوذرات به روش‌های شیمیایی
Error! Bookmark not defined.....	1-7-2-1	هیدروترمال
Error! Bookmark not defined.....	2-7-2-1	مایسل معکوس
Error! Bookmark not defined.....	3-7-2-1	سل-ژل
Error! Bookmark not defined.....	4-7-2-1	رسوب‌گذاری
Error! Bookmark not defined.....	5-7-2-1	احیای الکتروشیمیایی
Error! Bookmark not defined.....	6-7-2-1	تخریب حرارتی
Error! Bookmark not defined.....	7-7-2-1	سونوشیمیایی
Error! Bookmark not defined.....	8-7-2-1	تابش ریزموج

## فصل دوم: دیودها و نحوه کار آنها

Error! Bookmark not defined.....	1-2	مقدمه
Error! Bookmark not defined.....	2-2	اتصال p-n
Error! Bookmark not defined.....	3-2	انواع دیودها
Error! Bookmark not defined.....	1-3-2	دیود یکسوساز معمولی
Error! Bookmark not defined.....	2-3-2	دیود یکسوساز نقطه‌ای
Error! Bookmark not defined.....	3-3-2	دیود خازنی
Error! Bookmark not defined.....	4-3-2	دیود نوردهنده
Error! Bookmark not defined.....	5-3-2	دیود سد شاتکی
Error! Bookmark not defined.....	6-3-2	تفاوت بین دیود سد شاتکی و سایر دیودها
Error! Bookmark not defined.....	4-2	فیزیک سد شاتکی
Error! Bookmark not defined.....	1-4-2	مقدمه
Error! Bookmark not defined.....	2-4-2	تئوری شاتکی و مات برای اتصال نیمه‌رسانا-فلز در حالت ایده‌آل
Error! Bookmark not defined.....	3-4-2	اندازه‌گیری ارتفاع سد
Error! Bookmark not defined.....	1-3-4-2	اندازه‌گیری با استفاده از روش C-V

Error! Bookmark not defined..... 2-3-4-2- روش فوتوالکتریک

Error! Bookmark not defined..... 6-3-2- میدان الکتریکی و توزیع پتانسیل در ناحیه تهی

Error! Bookmark not defined..... 7-3-2- ظرفیت ناحیه تهی

Error! Bookmark not defined..... 1-7-3-2- سد شاتکی ایده‌آل

Error! Bookmark not defined..... 8-3-2- اثر حاملهای اقلیت

Error! Bookmark not defined..... 9-3-2- تاثیر لایه فصل مشترک

### فصل سوم: تهیه نانوساختارهای سولفید روی و ساخت دیود سد شاتکی

Error! Bookmark not defined..... 1-3- اهمیت و کاربرد سولفید روی

Error! Bookmark not defined..... 2-3- تهیه نانوساختار سولفید روی با استفاده از امواج میکروویو

Error! Bookmark not defined..... 1-2-3- مواد مورد استفاده

Error! Bookmark not defined..... 2-2-3- روش تهیه

Error! Bookmark not defined..... 1-2-2-3- چرا امواج میکروویو

Error! Bookmark not defined... 3-2-3- تهیه محلول n درصد پلی‌وینیل الکل (PVA) برای کنترل اندازه ذرات ...

Error! Bookmark not ... 4-2-3- تهیه نانوساختارهای سولفید روی با استفاده از محلول n درصدی پلی‌وینیل الکل ... defined.

Error! Bookmark not defined..... 3-3- ساخت دیود سد شاتکی

Error! Bookmark not defined..... 1-3-3- مقدمه

Error! Bookmark not defined..... 2-3-3- لایه نشانی به روش کندوپاش

Error! Bookmark not defined..... 3-3-3- فرایند کندوپاش

Error! Bookmark not defined..... 4-3-3- انواع روشهای کندوپاش

Error! Bookmark not defined..... 4-3- ساختار فلز- نیمه‌رسانا (MS) Au/n-Si/Ag

Error! Bookmark ... 5-3- ساخت دیود سد شاتکی با ساختار فلز-عایق-نیمه‌رسانا (MPS) Au/n-Si/ZnS-PVA not defined.

Error! Bookmark not defined..... 6-3- آنالیزهای I-V و C-V

Error! Bookmark not defined..... 7-3- دستگاههای استفاده شده در آزمایش

### فصل چهارم: بحث و نتیجه‌گیری

Error! Bookmark not defined..... 1-4- بررسی ساختاری و اپتیکی نمونه

Error! Bookmark not defined..... 1-1-4- آنالیز پراش پرتو ایکس (XRD)

Error! Bookmark not defined..... 2-1-4- آنالیز نور مرئی-فرابنفش (UV-Vis spectroscopy)

2-4- بررسی خواص الکتریکی و دیالکتریکی دیود سد شاتکی ساخته شده بر اساس نانوکامپوزیت سولفید روی-پلیمر(پلی وینیل الکل) با استفاده از روش طیفسنجی امپدانس ..... Error! Bookmark not defined.

1-2-4- طیفسنجی امپدانس ..... Error! Bookmark not defined.

1-1-2-4- تئوری رسانندگی ac ..... Error! Bookmark not defined.

2-2-4- بررسی ثابت دی الکتریک ..... Error! Bookmark not defined.

2-3-4- مدول الکتریکی ..... Error! Bookmark not defined.

3-3-4- ضریب اتلاف انرژی ..... Error! Bookmark not defined.

4-3-4- رسانندگی الکتریکی ..... Error! Bookmark not defined.

5-3-4- مشخصه‌یابی ظرفیت-ولتاژ ..... Error! Bookmark not defined.

6-3-4- محاسبه ارتفاع سد تولید شده ..... Error! Bookmark not defined.

4-4- نتیجه‌گیری: ..... Error! Bookmark not defined.

منابع و مأخذ: ..... Error! Bookmark not defined.

## فهرست جدول‌ها

شماره و عنوان جدول	صفحه
جدول 1-1 : گاف انرژی در برخی عناصر و ترکیبات نیمه‌رسانا در دمای 300 K.....	5
جدول 1-4: مقادیر تجربی بدست آمده ..... Error! Bookmark not defined.	

## فهرست شکل ها

صفحه

شماره و عنوان شکل ها

- شکل 1-1 : ساختار نواری در مواد (الف) رسانا، (ب) نیمه‌رسانا و (ج) نارسانا، برگرفته از (کیتل، 2005)..... 3
- شکل 2-1 : طرح‌واره‌ای از نحوه جابه‌جا شدن حفره در شبکه‌ی بلور سلیسیوم ..... 4
- شکل 3-1 : الکترون برانگیخته در تراز رسانش و حفره‌ی به جای مانده در تراز ظرفیت، با هم تشکیل اکسیتون می‌دهند. .... 5
- شکل 4-1 : نیمه‌رساناهای غیرذاتی با ترازهای (آ) بخشنده و (ب) پذیرنده، برگرفته از (شکوه‌فر و مومنی، 1384)..... 8
- شکل 5-1 : استفاده از نشانگرهای کوانتومی در سلول ..... Error! Bookmark not defined.
- شکل 6-1 : دیودهای نورانی (LED) ..... Error! Bookmark not defined.
- شکل 1-2 : (الف) پیوند p-n، (ب) بایاس مستقیم، (ج) بایاس معکوس ..... Error! Bookmark not defined.
- شکل 2-2 : دیود در بایاس معکوس، برگرفته از (نظریان، 1383) ..... Error! Bookmark not defined.
- شکل 3-2 : سد پتانسیل (الف) قبل از اتصال، (ب) بعد از اتصال ..... Error! Bookmark not defined.
- شکل 4-2 : ساختار نواری اتصال فلز-نیمه‌رسانا، (الف) در حالت تعادل، (ب) در بایاس مستقیم، (ب) در بایاس معکوس. Error! Bookmark not defined.
- شکل 5-2 : ساختار نواری اتصال، وقتی که تابع کار نیمه‌رسانا بزرگتر از تابع کار فلز است. Error! Bookmark not defined.
- شکل 6-2 : ساختار نوار انرژی برای فلز و نیمه‌رسانای نوع p، (الف) قبل از اتصال، (ب) بعد از اتصال. Error! Bookmark not defined.
- شکل 7-2 : نمودار نوار انرژی یک اتصال سد شاتکی با بایاس معکوس ساخته شده از نیمه‌رسانا نوع n. Error! Bookmark not defined.
- شکل 8-2 : شیب سد در نزدیکی سطح. Error! Bookmark not defined.
- شکل 1-3 : طرح واره سیستم لایه‌نشانی کندوپاش ..... Error! Bookmark not defined.
- شکل 2-3 : نمایی از کندوپاش مغناطیسی که در آن میدان مغناطیسی به موازات سطح کاتد است و باعث میشود الکترونها به جای طی مسیر به صورت مستقیم به صورت مارپیچی حرکت کنند و الکترونها پراثریتر شده و مسیر بیشتری را طی و اتمهای بیشتری را یونیزه میکنند ..... Error! Bookmark not defined.
- شکل 3-3 : طرح دستگاه کندوپاش با سیستم تریود ..... Error! Bookmark not defined.
- شکل 4-3 : طرح ماسکی که برای لایه نشانی استفاده شده است. .... Error! Bookmark not defined.
- شکل 5-3 : نمایی از ساختار Au/n-Si/Ag ..... Error! Bookmark not defined.
- شکل 6-3 : نمایی از ساختار Au/n-Si/ZnS-PVA ..... Error! Bookmark not defined.
- شکل 7-3 : سیستم اندازه‌گیری آنالیزها ..... Error! Bookmark not defined.
- شکل 1-4 : الگوی پراش پرتو ایکس لایه نازک نانو کامپوزیت ZnS-PVA. Error! Bookmark not defined.
- شکل 2-4 : نمودار جذب نمونه تهیه شده ..... Error! Bookmark not defined.



- شکل 3-4: نمودار  $T_{auc}$  نمونه تهیه شده. Error! Bookmark not defined.
- شکل 4-4: قرار گرفتن دیالکتریک در میدان الکتریکی و پدیده قطبش. Error! Bookmark not defined.
- شکل 5-4: نمودار تغییرات قسمت حقیقی ثابت دی الکتریک بر ولتاژ در فرکانسهای مختلف. Error! Bookmark not defined.
- شکل 6-4: تغییر نحوه اعمال ولتاژ به سیستم. Error! Bookmark not defined.
- شکل 7-4: نمودار تغییرات قسمت موهومی ثابت دی الکتریک بر حسب ولتاژ در فرکانسهای مختلف. Error! Bookmark not defined.
- شکل 8-4: تغییرات قسمت حقیقی مدول الکتریکی بر حسب ولتاژ در فرکانسهای مختلف. Error! Bookmark not defined.
- شکل 9-4: تغییرات قسمت موهومی مدول الکتریکی بر حسب ولتاژ در فرکانسهای مختلف. Error! Bookmark not defined.
- شکل 10-4: نمودار تغییرات ضریب اتلاف انرژی بر حسب ولتاژ در فرکانسهای مختلف. Error! Bookmark not defined.
- شکل 11-4: نمودار تغییرات رسانندگی بر حسب ولتاژ در فرکانسهای مختلف. Error! Bookmark not defined.
- شکل 12-4: تغییرات ظرفیت دیود بر حسب ولتاژ در فرکانسهای مختلف برای ساختار تولید شده. Error! Bookmark not defined.
- شکل 13-4: تغییرات رسانندگی دیود بر حسب ولتاژ در فرکانسهای مختلف. Error! Bookmark not defined.
- شکل 14-4: تغییرات مقاومت دیود بر حسب ولتاژ در فرکانسهای مختلف. Error! Bookmark not defined.
- شکل 15-4: نمودار ظرفیت بعد از اعمال مقدار مقاومت  $R_s$ . Error! Bookmark not defined.
- شکل 16-4: مقادیر اصلاح شده رسانندگی بعد از اعمال  $R_s$ . Error! Bookmark not defined.
- شکل 17-4: تغییرات شیب نمودارهای  $\frac{1}{C^2}$  بر حسب ولتاژ در فرکانسهای مختلف. Error! Bookmark not defined.
- شکل 18-4: نمودار  $N_{ss}$  بر حسب ولتاژ برای نمونه تهیه شده. Error! Bookmark not defined.

# فصل اول:

## نیمه رساناها و نانومواد

## 1-1- نیمه‌رساناها

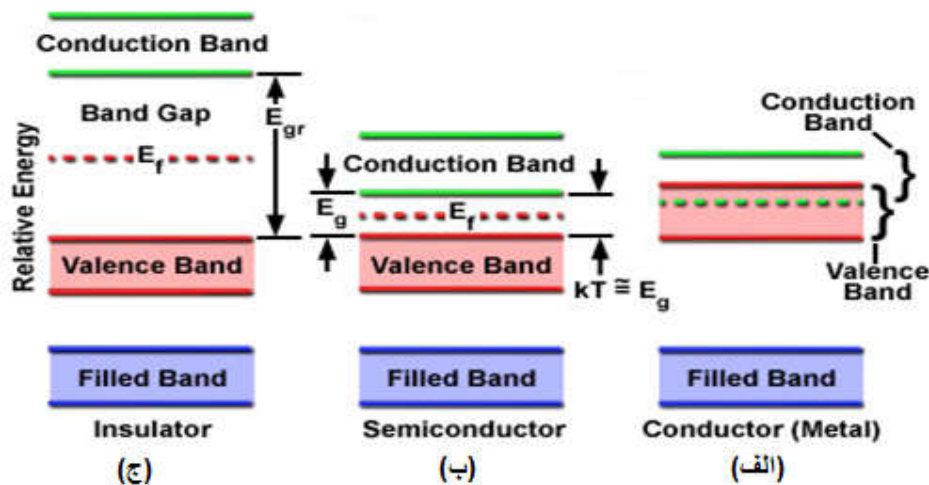
### 1-1-1- مقدمه

نیمه‌رساناها دسته‌ای از مواد هستند که از نظر الکتریکی، بین رساناها و عایق‌ها قرار می‌گیرند. ویژگی‌های مشخصه و هدایت الکتریکی نیمه‌رساناها تحت تاثیر عواملی چون برانگیختگی گرمایی (افزایش دما)، تحریک نوری، تغییر میزان ناخالصی، نواقص شبکه و یا انحراف از ترکیب شیمیایی اسمی، به میزان قابل ملاحظه‌ای تغییر می‌یابد. این خاصیت مهم مبنای کار بسیاری از قطعات نیمه‌رسانا است که در الکترونیک مورد استفاده قرار می‌گیرند. از مهم ترین مواد نیمه‌رسانای شناخته شده می‌توان سیلیسیوم و ژرمانیوم را نام برد. گسیل نور در این مواد ضعیف است و ضریب جذب کوچکی دارند. مقاومت ویژه نیمه‌رساناها وابستگی شدیدی به دما دارد. در واقع یکی از ویژگی‌های جالب مواد نیمه‌رسانا که آن‌ها را از مواد رسانا متمایز می‌کند، نحوه‌ی تغییر مقاومت ویژه الکتریکی آن‌ها با تغییر دماست، به صورتی که بلور خالص و کامل اغلب نیمه‌رساناها در صفر مطلق عایق است. در مواد رسانا افزایش دما باعث افزایش مقاومت ویژه الکتریکی می‌شود، علت این پدیده افزایش تعداد و شدت برخورد الکترون‌های آزاد با اتم‌های درحال نوسان در جسم رساناست. با افزایش دما جنبش ذرات تشکیل دهنده‌ی جسم بیشتر شده و این امر منجر به افزایش تعداد و شدت برخورد الکترون‌های آزاد با اتم‌های جسم می‌شود و الکترون‌ها که حامل بار الکتریکی در جسم جامد فلزی هستند، برای انتقال بار الکتریکی با موانع بیشتری برخورد کرده و در نتیجه رسانایی الکتریکی جسم جامد کاهش می‌یابد. برخلاف رساناها، در نیمه رساناها افزایش دما موجب کاهش مقاومت ویژه الکتریکی می‌شود. توجه این پدیده فقط با استفاده از نظریه‌ی نواری امکان‌پذیر است (کیتل، 2005). یکی از خصوصیات بارز نیمه‌رساناها که آن‌ها را از رساناها و نارساناها متمایز می‌کند گاف انرژی است. این خصوصیت طول موج‌هایی را که توسط نیمه‌رساناها جذب یا گسیل می‌شود تعیین می‌کند. به دلیل گستره‌ی وسیع گاف انرژی در نیمه‌رساناها، دیوهای تابش‌کننده‌ی نور و لیزرها را می‌توان با طول موج‌هایی در بازه فرسرخ تا فرابنفش به وجود آورد.

ویژگی الکترونیکی و نوری مواد نیمه‌رسانا به شدت تحت تاثیر ناخالصی‌هایی است به آن افزوده می‌شود. نیمه‌رسانای بسیار خالص، رسانندگی ذاتی از خود نشان می‌دهد که با رسانندگی ناشی از ناخالصی در نمونه‌های با خلوص کمتر تفاوت دارد (پیغمبریان، 1375).

## 1-1-2- ساختار نواری در مواد نیمه‌رسانا

پس شدن ترازها توسط الکترون‌ها براساس طرد پائولی صورت می‌گیرد. اگر یک بلور در حالت پایه قرار گرفته باشد و هیچ تحرکی به آن اعمال نشود و الکترون‌ها به طور کامل در ترازها جای گرفته باشند بالاترین تراز انرژی کاملاً پر، نوار ظرفیت و نوار بعدی که انرژی بیشتری دارد ممکن است نیمه‌پر یا خالی باشد، نوار رسانش نامیده می‌شود. مناطق انرژی بین نوارها که هیچ تراز انرژی در آن‌ها وجود ندارد، گاف انرژی است.

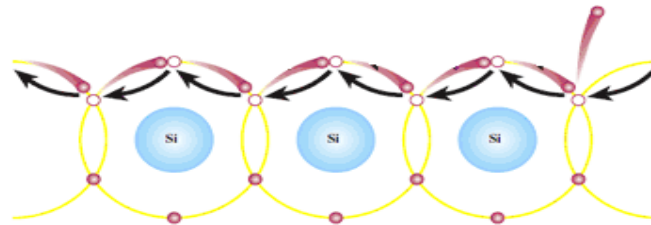


شکل 1-1: ساختار نواری در مواد (الف) رسانا، (ب) نیمه‌رسانا و (ج) نارسانا، برگرفته از (کیتل، 2005)

طبق نظریه نواری در حالتی که نوار ظرفیت و رسانش نیمه‌پر باشند و در بعضی نقاط سطح تراز رسانش پایین‌تر از سطح تراز ظرفیت یا منطبق با آن باشد، بلور یک فلز است. فلزات رسانای خوبی هستند زیرا اگر اندکی تحریک شوند، الکترون‌های نوار ظرفیت آن‌ها به نوار رسانش رفته و در انتقال جریان نقش حامل بار را ایفا می‌کنند. در حالتی که نوار ظرفیت پر و نوار رسانش کاملاً خالی و گاف انرژی بزرگ باشد به صورتی که الکترون‌ها به راحتی نتوانند گذار کنند، بلور نارسانا بوده و حتی در این حالت به دلیل پر بودن تراز ظرفیت، گذار بین نواری نیز رخ نمی‌دهد. در نیمه‌رساناها گاف انرژی مشابه حالت نارسانا وجود دارد اما بسیار کوچک است که در آن امکان تحریک برای گذار بین نواری وجود خواهد داشت. در شکل (1-1) ساختار نواری هر سه دسته دیده می‌شود.

در نیمه‌رساناها هدایت الکتریکی توسط دو نوع حامل بار یعنی الکترون‌های آزاد و حفره‌ها صورت می‌گیرد. حضور این حفره‌ها باعث می‌شود که الکترون‌های نوار ظرفیت از تراز پایین‌تر به ترازهای بالاتر در واقع همان جای خالی الکترون‌ها گذار کنند، انگار حفره از تراز بالاتر به تراز پایین گذار می‌کند و

چون در خلاف جهت الکترون‌ها حرکت می‌کند، لذا بار مثبت به آن اطلاق می‌گردد. در واقع وقتی الکترون از نوار ظرفیت به نوار رسانش می‌رود و جای خالی آن باقی می‌ماند، این حفره‌ی به جا مانده نمی‌تواند تحت تاثیر میدان الکتریکی جابه‌جا شود، چون اگر این حفره جابه‌جا شود ساختمان بلوری به هم ریخته و نیمه‌رسانا ممکن است بسیاری از خواص خود را از دست بدهد (پیغمبریان، 1375).



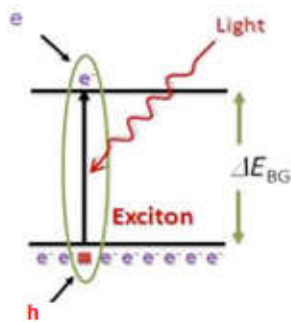
شکل 1-2: طرح‌واره‌ای از نحوه جابه‌جا شدن حفره در شبکه‌ی بلور سیلیسیم

همان‌طور که در شکل (1-2) مشاهده می‌شود، نحوه‌ی حرکت حفره‌ها و شرکت آن‌ها در جریان الکتریکی در نیمه‌رساناها به این صورت است که وقتی با رها شدن یک الکترون از یک پیوند کووالان، یک حفره بر جای می‌ماند، الکترون دیگری از پیوند مجاور به آسانی پیوند خود را شکسته و حفره قبلی را پر می‌کند.

### 1-2-1-1- اکسیتون

با تحریک الکترون و تغییر تراز آن، در جای خالی الکترون، حفره‌ای با بار مثبت باقی می‌ماند. حفره تشکیل شده در نوار ظرفیت با الکترون برانگیخته شده در نوار رسانش، پیوند کولنی برقرار کرده که به آن جفت الکترون-حفره تحت جاذبه‌ی پتانسیل کولنی یا به اصطلاح اکسیتون گفته می‌شود، شکل (1-3). اثرات کولنی باعث تغییرات مهمی در جذب در لبه نوار می‌شود که اثرات اکسیتونی نامیده می‌شوند (پیغمبریان، 1375).

اکسیتون‌ها شباهت بسیار زیادی به اتم هیدروژن دارند که علت آن جرم بسیار بزرگ حفره نسبت به الکترون است. از این رو می‌توان نظریه‌ی بوهر را جهت بررسی خواص اکسیتون بکار برد. به همین دلیل شعاع اکسیتون یا فاصله نسبی بین الکترون و حفره را شعاع بوهر اکسیتونی می‌نامند (کیتل، 2005).



شکل 3-1: الکترون برانگیخته در تراز رسانش و حفره‌ی به جای مانده در تراز ظرفیت، با هم تشکیل اکسیتون می‌دهند.

### 3-1-1- دسته‌بندی نیمه‌رساناها

#### 1-3-1-1 دسته‌بندی نیمه‌رساناها بر حسب جدول تناوبی

علاوه بر مواد تک‌عنصری گروه چهارم، ترکیب اتم‌های گروه سوم با پنجم و نیز ترکیب‌های خاصی از عناصر گروه‌های دوم با چهارم، نیمه‌رساناهای مرکب به صورت ترکیبات دوتایی سه‌تایی و چهارتایی را به وجود می‌آورند. در جدول (1-1) لیستی از گاف انرژی برخی از این نیمه‌رساناها را مشاهده می‌کنیم.

جدول 1-1: گاف انرژی در برخی عناصر و ترکیبات نیمه‌رسانا در دمای 300 K - برگرفته از (شکوه‌فر و مومنی،

(1384)

ترکیب های II-IV		ترکیب های III-V		عناصر گروه IV		گاف انرژی
ZnS	3.6 ev	GaN	3.4 ev	Si	1.11 ev	
ZnSe	2.7 ev	AlN	6.2 ev	Ge	0.67 ev	
ZnTe	2.25 ev	InN	0.7-1.9 ev	SiC	2.8-3.5 ev	
CdS	2.42 ev	AlAs	2.16 ev			
		GaP	2.26 ev			
		GaAs	1.43 ev			

نیمه‌رسانای ژرمانیوم (Ge) در اوایل توسعه‌ی نیمه‌رساناها به شکل گسترده‌ای در ترانزیستورها و دیودها استفاده شد. امروزه از سیلیسیوم (Se) در اکثر یکسوسازها و مدارهای مجتمع استفاده می‌شود. مواد فلوئورسان، مانند آن‌هایی که در تلویزیون‌ها استفاده می‌شود، معمولاً نیمه‌رساناهای گروه‌های دوم با

چهارم هستند. ترکیب گروه‌های سوم با پنجم نیز جزء ترکیبات اولیه‌ای است که در ساخت قطعات نوری استفاده شده‌اند (میرزانژاد، 1390).

### 1-1-3-2- دسته‌بندی نیمه‌رساناها بر حسب شکل گاف انرژی

نیمه‌رساناها بر حسب شکل گاف انرژی‌شان به نیمه‌رساناهای با گاف مستقیم و غیرمستقیم تقسیم می‌شوند. وقتی کمینه نوار رسانش و بیشینه نوار ظرفیت، هر دو در یک نقطه در فضای  $k$  ظاهر شوند، نیمه‌رسانای با گاف انرژی مستقیم خواهیم داشت. برای مثال می‌توان نیمه‌رساناهایی مانند  $CdS$ ،  $InSb$ ،  $GaAs$  و تعداد بسیاری از مواد با ترکیب‌های گروه‌های سوم با پنجم و دوم با چهارم را نام برد. از طرف دیگر، وقتی که کمینه نوار رسانش در محل دیگری غیر از مقدار بیشینه نوار ظرفیت در فضای  $k$  اتفاق افتد، نیمه‌رسانایی با گاف انرژی غیرمستقیم داریم که گذار بین این دو نوار به کمک یک فونون انجام می‌شود.

### 1-1-3-3- دسته‌بندی نیمه‌رساناها بر حسب شبکه ساختار بلوری

آرایش متناوب اتمی در یک بلور، شبکه نامیده می‌شود. در هر حالتی شبکه دارای حجمی موسوم به سلول یک شبکه است که نماینده تمام شبکه بوده و به طور منظم داخل شبکه تکرار می‌شود. ساده‌ترین شبکه سه‌بعدی، یک حجم مکعبی است. ساختار مکعبی ساده دارای یک اتم در هر گوشه از سلول واحد است. شبکه مکعبی مرکز حجمی دارای یک اتم اضافه در مرکز مکعب است. همچنین شبکه مکعب سطحی دارای اتم‌هایی در هشت گوشه و مرکز شش وجه مکعب است. ساختار شبکه پایه برای اغلب نیمه‌رساناهای مهم، شبکه الماسی است که مشخصه سیلیسیوم و ژرمانیوم است. اتم‌ها در بسیاری از نیمه‌رساناهای مرکب آرایش الماسی دارند ولی به صورت یک در میان متفاوتند (کیتل، 2005).

### 1-1-3-4- دسته‌بندی نیمه‌رساناها بر حسب میزان ناخالصی در شبکه بلوری

نیمه‌رساناها به دو دسته‌ی همکن و غیرهمکن تقسیم‌بندی می‌شوند که نیمه‌رساناهای خالص را همکن (یا ذاتی) و نیمه‌رساناهایی را که به آن‌ها ناخالصی افزوده شده غیرهمکن (یا غیرذاتی) می‌گویند. نکته حائز اهمیت این است که در نیمه‌رساناهای ذاتی (همکن) چگالی الکترون‌ها و حفره‌ها با هم برابرند و این موضوع به این دلیل است که در این مواد حفره‌های نوار ظرفیت فقط از به وجود آمدن الکترون‌های نوار رسانش به وجود آمده‌اند. اما در مورد نیمه‌رساناهای غیرذاتی این امر صادق نیست. تفاوت اصلی نیمه‌رساناهای ذاتی و غیرذاتی در این است که در نیمه‌رساناهای ذاتی الکترون‌های نوار

رسانش فقط از طریق نوار ظرفیت و در واقع از طریق برانگیخته شدن الکترون‌های نوار ظرفیت تامین می‌شوند، اما در نیمه‌رساناهای غیرذاتی الکترون‌های نوار رسانش هم از طریق نوار ظرفیت و هم از طریق ترازهای ناخالص تامین می‌شود. افزودن ناخالصی به ماده به دو صورت جانیشینی و غیرجانیشینی انجام می‌شود. در روش جانیشینی اتم میزبان برداشته شده و اتم دیگری در جای آن قرار می‌گیرد (در واقع در جای نقاط شبکه قرار می‌گیرد) ولی در روش غیرجانیشینی، اتم ناخالصی در جایی غیر از محل نقاط شبکه قرار می‌گیرد. مشخصات مواد نیمه‌رسانا را می‌توان با افزودن ناخالصی معینی به میزان قابل توجهی تغییر داد. به این کار آرایش نیمه‌رسانا گفته می‌شود. این ناخالصی‌ها حتی اگر به میزان یک در ده میلیون هم باشد، می‌تواند به اندازه کافی ساختمان نوارهای انرژی را تا حد تغییر خصوصیات الکترونیکی ماده دگرگون سازند (پیغمبریان، 1375).

نیمه‌رسانای نوع n و p

در حالت کلی افزودن ناخالصی به نیمه‌رسانای ذاتی به دو صورت زیر انجام می‌گیرد:

نوع n ← تراز بخشنده

نوع p ← تراز گیرنده

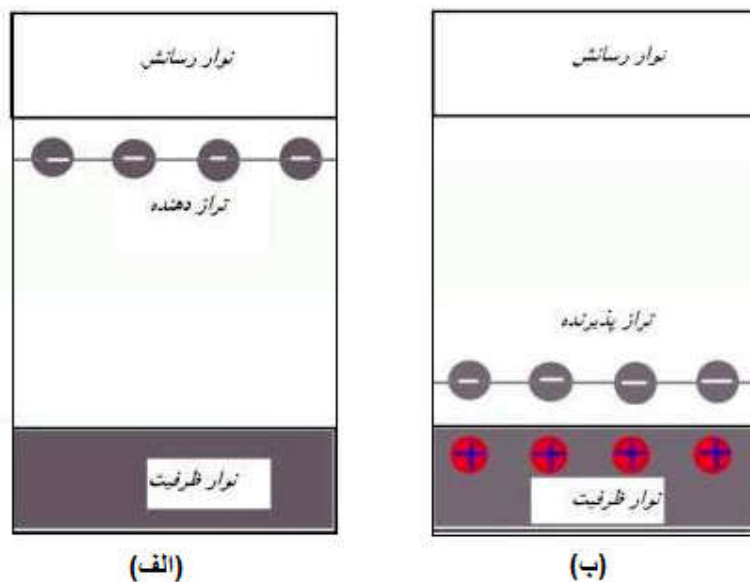
حالت اول حالتی است که اتم ناخالصی یک الکترون ظرفیت بیش‌تر از اتم‌های نیمه‌رسانای ذاتی داشته باشد که در این حالت تزریق ناخالصی سبب افزایش چگالی الکترون‌های آزاد در بلور نیمه‌رسانا می‌شود و ماده‌ی حاصل را نیمه‌رسانای نوع n می‌نامند. برای نمونه می‌توان به افزودن پنج ظرفیتی از قبیل آرسنیک As، فسفر P و آنتی‌موآن Sb به نیمه‌رساناهای چهار ظرفیتی سیلیسیوم و ژرمانیوم اشاره کرد. حالت دوم حالتی است که در آن اتم ناخالصی یک الکترون ظرفیت کمتر از اتم‌های نیمه‌رسانای ذاتی داشته باشد که در این حالت تزریق ناخالصی سبب افزایش حفره‌های آزاد در بلور نیمه‌رسانا می‌شود که حاصل این کار به دست آمدن نیمه‌رسانای نوع p است. این حالت با افزودن عناصر سه ظرفیتی از قبیل آلومینیوم Al، بور B و ایندیوم In به نیمه‌رسانای چهار ظرفیتی سیلیسیوم و یا ژرمانیوم به دست می‌آید.

میزان ناخالصی لازم برای اینکه در خاصیت رسانایی نیمه‌رسانا تغییر قابل توجهی ایجاد شود، بسیار ناچیز است. به عنوان مثال اگر به ازای هر  $10^{+8}$  اتم سیلیکون فقط یک اتم ناخالصی اضافه شود، در دما  $30^{\circ}\text{C}$  رسانایی ویژه آن 24000 برابر می‌شود (پیغمبریان، 1375).



در نیمه‌رسانای نوع n الکترون‌ها حامل‌های اکثریت و حفره‌ها حامل‌های اقلیت‌اند. در نیمه‌رسانای نوع p عکس این حالت صادق است. هر دو این حالت‌ها سبب افزایش حاملان بار می‌شوند. شکل (1-4).

با اتصال دو نیمه‌رسانای نوع n و p در محل پیوند الکترون‌ها و حفره‌ها یکدیگر را خنثی کرده و در عرض باریکی در پیرامون محل اتصال فضایی با نام تهی‌جای که از لحاظ بار الکتریکی خنثی است، تشکیل می‌گردد و دو نیمه‌رسانای متصل شده تشکیل دیود می‌دهند. دیودها یک‌سوکننده جریان‌های الکتریکی هستند.



شکل 1-4: نیمه‌رساناهای غیرذاتی با ترازهای (آ) بخشنده و (ب) پذیرنده، برگرفته از (شکوه‌فر و مومنی، 1384).

## 1-2-1-2- نانو مواد

### 1-2-1-1- مقدمه

پیشوند نانو در اصل یک کلمه یونانی است، این پیشوند در علم مقیاس‌ها به معنای یک میلیاردم است. فناوری نانو شامل دستکاری دقیق و کنترل اتم‌ها و مولکول‌ها برای ایجاد ساختار جدید با خصوصیات منحصر به فرد است. معمولاً منظور از مقیاس نانو، ابعادی در حدود 1 تا 100 نانومتر است. همه‌ی مواد از جمله فلزات، نیمه‌رساناها، شیشه‌ها، سرامیک‌ها و ... می‌توانند در ابعاد نانو وجود داشته

باشند. نانومواد می‌توانند به صورت بی‌شکل، بلوری، آلی، غیرآلی و یا به صورت پودر، کلوئیدی یا امولسیون باشند (فایمن، 1974).

### **1-2-2-1- شاخه‌های نانوفناوری**

به طور کلی مطالعات در زمینه نانو را می‌توان به سه دسته تقسیم کرد. اگرچه روش‌های تحقیقاتی در آن‌ها با یکدیگر متفاوتند، اما این سه شاخه بهم مرتبط بوده و پیشرفت در یکی از شاخه‌ها، بر روی شاخه‌های دیگر نیز تاثیرگذار است. این سه شاخه عبارتند از:

### **1-1-2-1- نانو تکنولوژی مرطوب**

این شاخه به مطالعه سیستم‌های زنده‌ای می‌پردازد که اساساً در محیط‌های آبی وجود دارند. در این شاخه ساختمان مواد ژنتیکی، غشاهای و سایر ترکیبات سلولی در مقیاس نانو مورد مطالعه قرار می‌گیرند. پژوهشگران موفق شده‌اند ساختارهای زیستس فراوانی تولید کنند که نحوه عملکرد آن‌ها در مقیاس نانو کنترل می‌شود. این شاخه دربرگیرنده علوم پزشکی، دارویی و به طور کلی علوم و روش‌های مرتبط با زیست فناوری است.

### **1-2-1-2-1- نانو تکنولوژی خشک**

این شاخه از علوم پایه، یعنی فیزیک و شیمی مشتق می‌شود و به مطالعه تشکیل ساختارهای کربنی، سیلیکون و مواد غیرآلی و فلزی می‌پردازد. نکته قابل توجه این است که الکترون‌های آزاد در فناوری خشک، خصوصیات فیزیکی ماده را پدید می‌آورند. در نانوتکنولوژی خشک کاربرد مواد نانو، در الکترونیک، مغناطیس و ابزارهای نوری مورد مطالعه قرار می‌گیرند.

### **1-2-1-2-1- نانو تکنولوژی محاسبه‌ای**

در بسیاری از مواقع ابزار آزمایشگاهی موجود برای انجام برخی از آزمایش‌ها در مقیاس نانو مناسب نیستند و یا این آزمایش‌ها بسیار پرهزینه است. در این حالت از رایانه‌ها برای شبیه‌سازی فرآیندها و واکنش‌ها استفاده می‌شود (Chen & et al, 2000).

Family name: Akbari	Name: Bashir
Title of Thesis: Preparation of zinc sulfide polymer nanocomposites and investigated of their dielectric properties	
Supervisor: Dr. Yashar Azizian-Kalandaragh	
Graduate Degree: <b>M.Sc.</b>	
Major: <b>Physics</b>	Specialty: <b>Solid State</b>
University: <b>Mohaghegh Ardabili</b>	Faculty: <b>Science</b>
Graduation date: <b>17/02/2016</b>	Number of pages: <b>77</b>
<p><b>Abstract:</b></p> <p>In this research a simple microwave-assisted method have been used for preparation of ZnS nanostructures in presence of PVA as a capping agent. The prepared sample has been investigated by UV-Vis spectroscopy, X-Ray diffraction (XRD). The objective of this research is determine some main electrical and dielectric parameters of the Au/ZnS-PVA/n-Si structures using admittance measurements. For this aim, capacitance/conductance-voltage-frequency (C/G-V-f) measurements were performed at various frequencies (10 kHz-200 kHz) and voltages (<math>\pm 3</math> V) by 50 mV steps at 300 K. Some main electrical parameters such as the concentration of donor atoms (<math>N_D</math>), diffusion potential (<math>V_R</math>), Fermi energy level (<math>E_F</math>) and barrier height (<math>\Phi_B(C-V)</math>) values were obtained from the reverse bias <math>C^{-2}</math>-V plots for each frequency. The voltage dependent profile of series resistance (<math>R_s</math>) and surface states (<math>N_{ss}</math>) profiles of the structure was also obtained using Admittance and low-high frequency methods. Both the <math>R_s</math>-V and <math>N_{ss}</math>-V plots have a distinctive peaks in the depletion region due to the spatial distribution. The effect of <math>R_s</math> and interfacial layer on the C-V and <math>G/\omega</math> -V characteristics are found remarkable at high frequencies. Therefore, the high frequency C-V and <math>G/\omega</math> -V plots were corrected to eliminate the effect of <math>R_s</math>. In addition, some main dielectric parameters such as the real and imaginary parts of dielectric constants (<math>\epsilon'</math> and <math>\epsilon''</math>) and electric modulus (<math>M'</math> and <math>M''</math>), loss tangent (<math>\tan\delta</math>), and ac electrical conductivity (<math>\delta_{ac}</math>) values were obtained using C and <math>G/\omega</math> data and they are found to a strong functions of frequency and applied bias voltage. Experimental results confirmed that the <math>N_{ss}</math>, <math>R_s</math> and interfacial layer of the MPS structure are more important parameters that strongly influence both the electric and dielectric properties.</p>	
<p><b>Keywords:</b> ZnS; microwave-assisted method; Electrical and dielectric properties; Electric modulus and ac electrical conductivity; Frequency and voltage dependence</p>	



**University of Mohagheh Ardabili**

**Faculty of Science**

**Department of Physics**

**Thesis submitted in partial fulfilment of the requirements for the degree of  
M.Sc. in In filed of Physics Specialty Solid State**

Title:

**Preparation of zinc sulfide polymer nanocomposites and investigated  
of their dielectric properties**

Supervisor:

**Dr. Yashar Azizian-Kalandaragh**

By:

**Bashir Akbari**

February 2016